

# 발코니 길이변화에 의한 화염분출성상의 실험적 고찰

김 회 천<sup>†</sup>, 손 장 열<sup>\*</sup>, 박 형 주<sup>\*\*</sup>

한양대학교 대학원 건축공학과, <sup>\*</sup>한양대학교 건축대학, <sup>\*\*</sup>경원대학 소방방재공학과

## Experimental Study of the Blowoff Flame Phenomena Due to Changes of Balcony Length

Hoe-Cheon Kim<sup>†</sup>, Jang-Yeul Sohn<sup>\*</sup>, Hyung-Ju Park<sup>\*\*</sup>

Graduate School, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

<sup>\*</sup>College of Architecture, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Fire & Disaster Engineering, Kyoungwon College, Seongnam 461-701, Korea

(Received October 20, 2006; revision received January 12, 2007)

**ABSTRACT:** In the case of the fire outburst within a partitioned space, it can disappear inside it through smoldering process if the fire cannot obtain sufficient inflammability. On the contrary, if it obtains it, the fire is not restricted within the room, spreading to the higher levels beyond outside windows and the compartment room. The method to prevent the fire spread through windows is considered to build a balcony or equip with sprinkler facilities. This case study is to identify which effects and controlibility a balcony brings about on the spread of fire through a full scale model experiment. In order to understand the effects of fire spread on the upper levels of the room on fire by changing the length of balcony, the temperature was measured, radiant heat was investigated, and products of combustion were analyzed. The result showed that when fire occurred, longer length of the balcony, which linked to the outside wall of the apartments, led to the blocking of the fire spread, lower level of radiant heat, and significantly less transfer of toxic gases, and the driving force of the outburst of flame was identified as the attractive force due to the turbulence of uncombusted gases, which exist on the upper level of the outbursting flame.

**Key words:** Compartment fire(구획화재), Fire spread(화재연소), Outbursting flame(분출화염), Full scale model experiment(실물모델실험)

### 기 호 설 명

$c$ : 비열 [kJ/kg·K]	$L$ : 기화열 [kJ/g]
$\Delta H_C$ : 유효연소열 [kJ/g]	$\dot{m}''$ : 최대연소속도 [g/m <sup>2</sup> ·s]
$k$ : 열전도도 [W/m·K]	$\dot{Q}$ : 에너지 방출속도 [MW]
	$\dot{q}''$ : 복사열유속 [kW/m <sup>2</sup> ]

### 그리스 문자

$\rho$  : 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-3288-6119; fax: +82-2-3288-0547

E-mail address: kim-heo@hanmil.net

## 하첨자

*ig* : 착화온도  
*critical* : 임계열유속

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

건물의 구획된 실에서 발생한 화재는 충분한 연소성을 확보하게 되면 외벽개구부를 통해 연소되어 화재는 확대되고 피해가 증가한다. 한국화재보험협회의 자료<sup>(1)</sup>에 의하면 화재는 발생조건과 위험도가 큰 점포와 식당 등이 있는 저층부에서 발생할 확률이 큰 것으로 조사되었으며, 이러한 부위에서 발생한 화재의 수직방향 연소성을 막지 못할 때 고층부에서 발생한 화재보다 훨씬 위험하다. 상부층로의 연소 사례의 예는 실제화재현장에서 다수 보고되고 있다.<sup>(2)</sup> 또한, 미국소방본부의 자료<sup>(3)</sup>에서도 거의 유사한 사례가 보고되었는데, 1996년부터 1998년까지 미국에서 발생한 대형화재 15,500건 중 75%는 주거건물화재이며, 그 화재의 2/3 이상이 15m 아래의 4층 이하에서 발생한 것으로 나타났고, 주거건물화재는 상업건물화재보다 피해액은 적으나 인명피해에 대한 잠재적 추정손실은 더 크다.

화재실 상부층로의 연소성상을 규명하기 위한 해석수법은 실물모델실험, 축소모델실험과 CFD에 의한 분야로 나누어 진행되고 있다. 실물모델실험은 Yokoi<sup>(4)</sup>가 구획실 내부온도 및 연소현상에 대한 분석을 통하여 상층연소현상을 제어할 수 있는 적절한 발코니 길이를 제안하였고, Oleszkiewicz<sup>(5)</sup>는 창문크기에 따른 건물정면의 화재노출에 대한 영향을 분석하기 위한 수법으로, 한 변 1.13m 크기의 정사각형 실을 대상으로 각각 수평·수직 부재를 설치하여 불의 확산에 따른 열흐름의 감소율을 측정하였다. 또한, Choi<sup>(6)</sup>은 실물모델실을 축소하여 현장실험을 행하여 상층부에 미치는 온도성상에 대한 연구를 하였다. 한편, Suzuki et al.<sup>(7)</sup>은 7층에 해당하는 아파트를 1/7 축소모델로 하여 연소성상을 평가하였다.

CFD에 의한 해석은 Galea et al.<sup>(8)</sup>가 FLOW3D를 이용하여 1MW 열원에 대한 연소성상을 고찰하였고, Mammoser<sup>(9)</sup>는 NIST의 Mcgrattan 등

에 의해 개발된 FDS를 이용하여 1/7 축소모형을 대상으로 시뮬레이션을 행하였다.

상기의 실물모델에서는 상부층에 대한 연소의 요소를 주로 온도성상만으로 평가하였고, 복사열 유속이나 연소생성물의 농도변화 등에 대한 판단은 다소 미흡하여 총체적인 연소성상을 충분히 규명하는 데는 한계가 있다. 또한, 축소모델실험은 화재실 내 연소물질로 LPG 등을 사용하여 분출 화염의 원동력을 충분히 반영시키지 못하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 주거건물의 화재시 화재실 상부층에 대한 연소성의 고찰을 위하여 분출화염에 의한 외부 온도의 영향, 복사열의 변화, 산소농도 등의 변화, 그리고 화염의 Trajectory 형성에 영향을 주는 변수를 고찰하여, 상부층 연소방지를 위한 발코니 또는 차양의 적정한 길이와 스펙트럼 높이를 파악하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 현장실험과 실물모델실험, 축소모델실험을 행하고 CFD 해석을 행하는 전체 연구흐름 중의 하나로 실물모델실험을 대상으로 한 것이며 다음과 같은 방법으로 진행하였다.

아파트에서 발생한 화재를 모사하기 위하여 3층 높이에 해당하는 실험실을 만들고, 아파트의 거실과 유사하게 구획된 실을 축조한다. 모델실의 내부에 연소대를 설치하여 액체연료를 시료로 하여 화재를 출화하는 것으로 한다. 전면 개구부 상부에 발코니의 형상을 갖는 수평부재를 설치하고 그 길이를 다양하게 변화시켜 상부층으로 연소되는 성상을 평가한다.

모델실험용 구조체는 실험의 반복에 의한 내력을 유지하고 벽체·지붕을 통한 열손실을 최소화할 수 있고, 비용의 절감과 이동성이 용이한 철제 컨테이너를 제작하여 설치하는 것으로 하고 내부에 상당한 두께의 차열재로 보강한다. 시료의 선정은 실험결과에 미치는 영향이 크므로 연소속도, 에너지 방출속도, Soot의 발생 정도,  $t^2$  화재의 범위 등을 고려하며, 이에 따라 연소대의 면적을 결정한다.

화재의 연소에 미치는 주된 요소는 화염의 온도, 고온상태로의 지속시간, 임계열유속 이상의 복사열유속 등으로 이들에 대한 고찰을 통하여 상부층으로 연소되는 과정을 평가한다.

## 2. 화재 연소방지를 위한 관련 법규

화재의 상층부 연소성을 억제하려는 각국의 관련 법규에 대한 내용은 다음과 같다. 일본은 건축기준법시행령 제112조 제10항에서 상층과 하층 사이에 0.9m 이상의 외벽을 설치하거나 0.5m 이상의 내화구조로 된 발코니나 차양을 설치하도록 규정하고, 수평방향 연소방지를 위하여 인접주호의 외벽개구부와 개구부 사이를 0.9m 이상 확보하거나 0.5m 이상의 내화구조의 수직벽을 설치할 것을 의무화하고 있다. 뉴질랜드는 NZBC(New Zealand Building Code) C/AS1에서 대다수 건물에 수평부재를 설치할 것을 규정하고 있고, 유럽의 다수 국가에서도 마찬가지다. 우리나라는 건설교통부 고시 제2005-400호의 제4조 제1항에 “아파트 2층 이상의 층에서 스프링클러의 살수범위에 포함되지 않는 발코니를 구조변경하는 경우에는 발코니 끝부분에 바닥판 두께를 포함하여 높이가 0.9m 이상의 방화판 또는 방화유리창을 설치하여야 한다”라고 규정하고 있으나, 수평부재인 발코니나 차양에 대한 것과 인접주호로의 수평전파방지에 대한 규정은 없다.

## 3. 실험

### 3.1 실험개요

본 실험은 실물크기의 모델을 모사한 것으로서, 화재실의 크기는 3.0 m(W)×4.0 m(L)×2.45 m(H)이며 외부는 두께 1.4 mm의 철판으로 구성되어 있

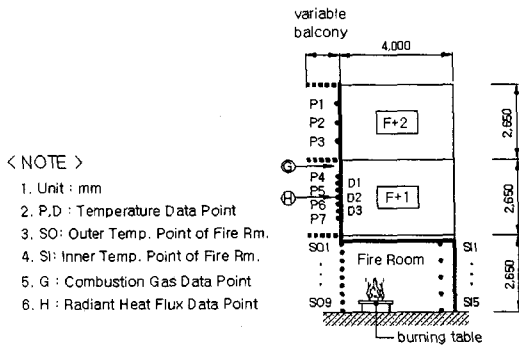


Fig. 1 Cross-section view of temperature measuring points in full scale model experiment.

다. 1개층의 높이는 2.65 m로 하여 3개층 높이이며, 화재실의 외벽 및 지붕은 차열성을 증대시키기 위하여 그 내부에 아연도강판, 내화1급 석고보드 등을 여러 겹 덧붙여 시공하였다.

Fig. 1에 온도, 연소가스, 복사열 측정점을 나타낸다. 온도측정점은 F+1층 외벽 15개소, F+2층 외벽 9개소이며, 화재실 내 화원부 외측 9개소 내측 5개소에서 측정을 행하였다. 그리고, 복사열 측정과 연소가스의 측정을 위하여 F+1층에 각각 1개소씩 센서를 설치하였다. Photo 1은 옥내와 옥외에 설치된 실험실의 모습을 나타낸 것이다.



(a) Outdoor experiment (b) Indoor experiment

Photo 1 Side views of model experiment facilities.

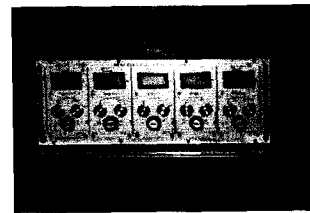


Photo 2 Heat flux meter.

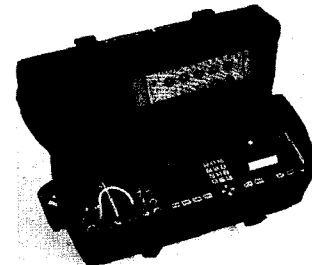


Photo 3 Portable flue gas analyzer.

Photo 2와 Photo 3은 복사열 측정기와 연소가스 분석기를 각각 나타낸 것으로, 복사열 측정기는 Medtherm사의 Digital heat flux meter를, 연소가스분석기는 Madur사의 Portable flue gas analyzer를 이용하였으며, 온도측정용 센서로는 K-type(CA) 0.65 mm를 사용하였다.

### 3.2 실험조건 및 방법

시료는 헵탄을 이용하였으며, 그 물리적 특성을 Table 1에 나타냈다. 실내의 최대에너지 방출속도( $\dot{Q}$ )는 Babrauskas에 의한 실험값<sup>(10)</sup>에 가까운

3.3 MW를 적용하였으며, 이에 따른 연소대의 크기, 시료의 양 등을 Table 2에 표시하였고, 연소부는 화재실 바닥에서 0.25 m 이격하여 상부에 위치시켰다. 헵탄은 NFPA(National Fire Protection

Table 1 Physical specific of Heptane (C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>)

Physical specific	Symbol	Unit	Value
Density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	675
Heat of gastification	$L$	kJ/g	0.50
Mass burning rate	$\dot{m}''$	g/m <sup>2</sup> ·s	70
Heat of combustion	$\Delta H_C$	kJ/g	44.6

Table 2 Experimental conditions

Condition	Unit	Value
Dimension of fire room	m (W×L×H)	3.0×4.0×2.65
Heat release rate	KW	3,300
Dimension of burning table	m	1.03×1.03
Volume of liquid fuel	L	14.96

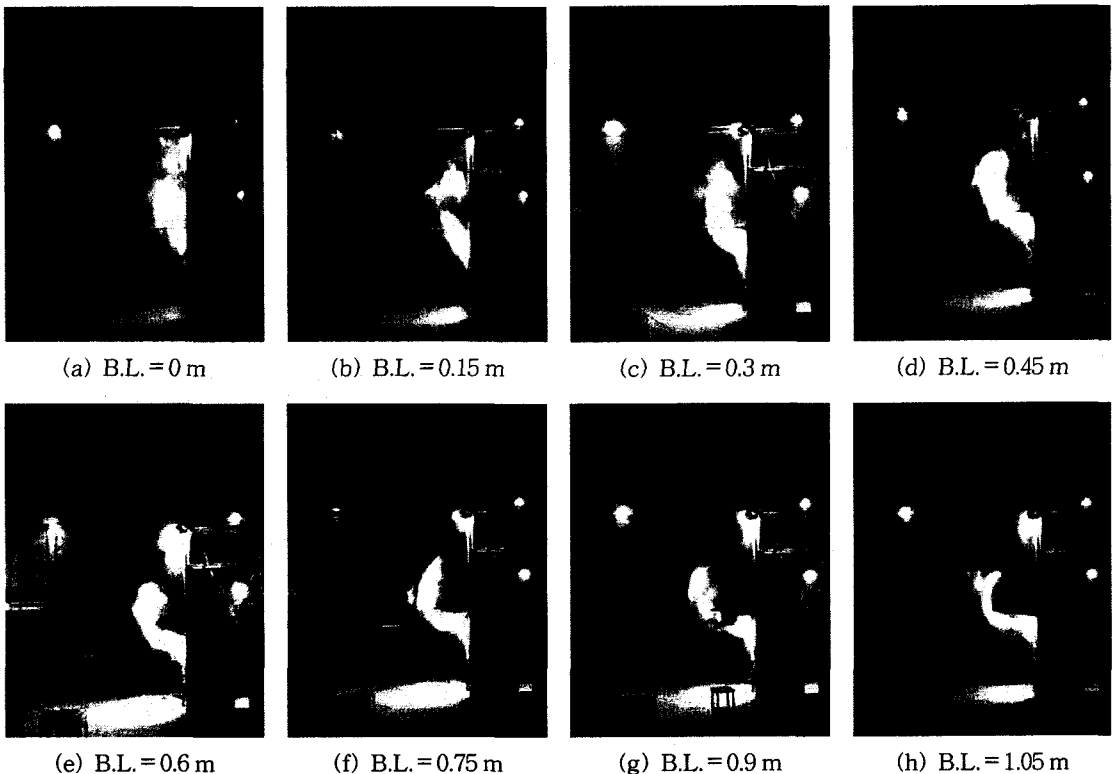


Photo 4 Side views of outbursting flames due to change of balcony length in model experiment.

Association)에서 규정하는  $l^2$  화재의 범위에서 ultrafast에 속하는 것으로 간주하였다.

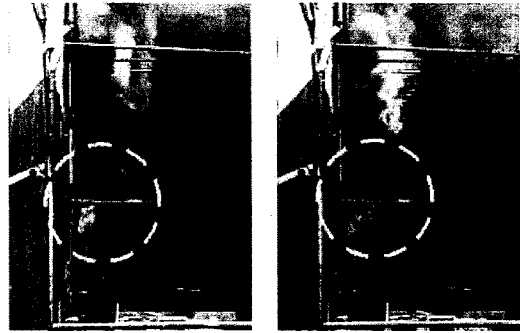
개구부의 조건은 최성기를 고려하여 완전히 개방하는 것으로 실험조건을 설정하였고, 발코니의 길이변화는 최초 0m에서 실험을 시작하여, 각 케이스별로 0.15m 간격으로 증가시켜 최대 1.2m 까지 확장하여 실험을 행하였다.

#### 4. 발코니 길이변화에 따른 화재연소성

##### 4.1 화재성상평가

Photo 4는 발코니 길이의 증가에 따른 화염의 분출현상을 나타낸 것으로, 길이가 증가함에 따라 Trajectory의 궤적이 화재실 상부층의 외벽에서 이격되어져 연소의 위험성이 저감됨을 알 수 있다. 그러나 발코니 길이가 증가하더라도 발코니 가장자리에서 상부로 치솟는 화염높이는 충분히 감소하지 않았는데, 이는 화재실 내에 충전된 많은 양의 미연소가스가 화염과 함께 외부로 분출된 후 그곳에서 충분한 양의 산소를 만날 때 다시 연소되기 때문인 것으로 판단되었다. 고온의 화염이 외부로 분출되고, 화염의 말단부위는 항상 외벽을 향하여 만곡상태로 유지됨을 고려할 때, 발코니 단부에서 일정한 높이까지 내화재료를 설치하지 않을 때는 매우 위험할 것으로 사료된다.

Photo 5는 고온의 미연소가스의 분출에 의하여 생성되는 와류의 모습이다. 이러한 와류는 가스의 생성량이 적은 화재의 초기단계에서는 나타나지 않는다. 화재의 성장으로 미연소가스의 양이 많아지고, 화염길이가 충분히 발달되어 발코니 끝부분에 도달된 화염은 외부의 상부공간으로 방향을 선회하게 된다. 항상 화염의 상부와 발코니 하부 사이에서 외부로 배출되던 고온의 미연소가스



(a) Early stage

(b) Late stage

Photo 5 Attractive force appearance due to turbulence of uncombusted gases.

는 배출경로의 변경과 좁아진 유출통로를 통하여 매우 빠른 속도로 외부로 이동하려 한다. 그 결과 발코니 말단부의 경계에서 와류가 형성되고, 선회력과 선회속도의 증가에 따라 회전 반경은 더욱 작아지게 되면서 상부로 진행되는 화염의 Trajectory를 외벽 쪽으로 잡아당겨서 만곡되게 한다. 이러한 단계에 돌입하면 화재의 위험성과 연소성은 그만큼 증대된다. Photo 5(a)의 빗금 친 원 안에 초기와류의 생성모습을 나타냈다. Photo 5(b)에서는 와류가 상당히 발달되어 와류의 회전 반경이 더욱 작아지면서 Trajectory의 형상이 외벽 쪽으로 흡인되어져 만곡됨을 확인할 수 있다.

##### 4.2 온도에 의한 평가

###### 4.2.1 외벽부의 온도성상

발코니의 길이의 다양성, 즉 L=0m에서 L=0.9m까지 발코니 길이를 변화시킬 때 각 측정점의 온도분포와 그 지속시간을 Fig. 2에서 Fig. 8까지 나타낸다. 각 그림의 범례의 끝부분에 표시한

Table 3 Ignition properties of building materials

Material	$\kappa\rho c$ (kW/m <sup>2</sup> K) <sup>2</sup> s	$T_{ig}$ (°C)	$\dot{q}''_{critical}$ (kW/m <sup>2</sup> )
Hardboard (6.35 mm)	1.87	298	10
Carpet (nylon/wool breed)	0.68	412	18
Carpet (acrylic)	0.42	300	10
Gypsum board, wall paper	0.57	412	18
Asphalt shingle	0.70	378	15
Particleboard (1.27 cm stock)	0.93	412	18
Glass reinforced polyster (2.24 mm)	0.32	390	16

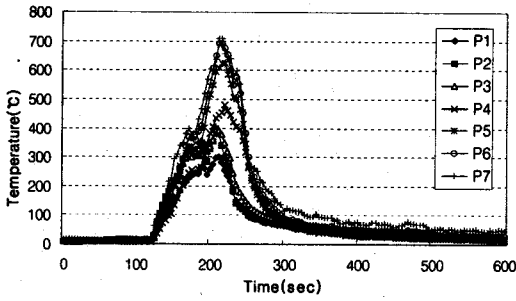


Fig. 2 Temperature distribution (B.L. = 0 m).

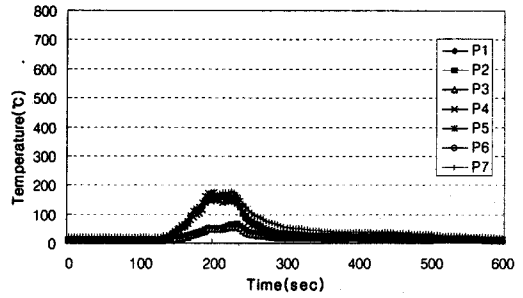


Fig. 6 Temperature distribution (B.L. = 0.6 m).

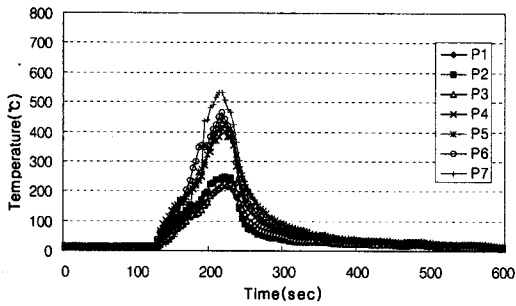


Fig. 3 Temperature distribution (B.L. = 0.15 m).

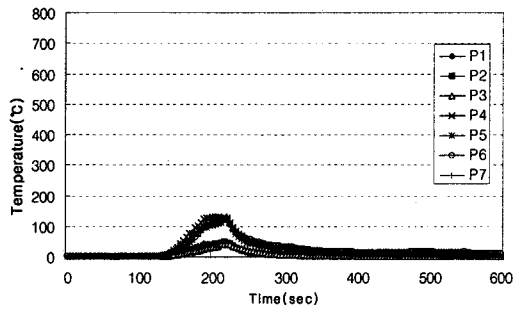


Fig. 7 Temperature distribution (B.L. = 0.75 m).

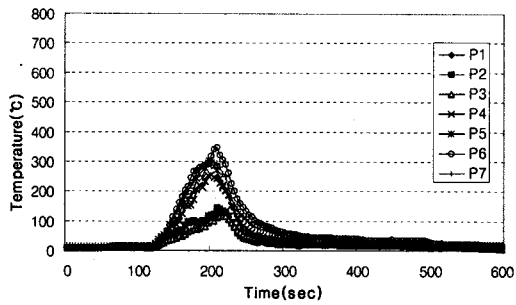


Fig. 4 Temperature distribution (B.L. = 0.3 m).

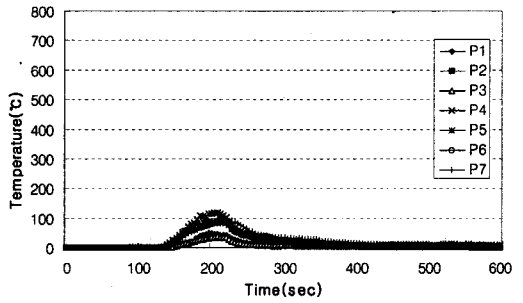


Fig. 8 Temperature distribution (B.L. = 0.9 m).

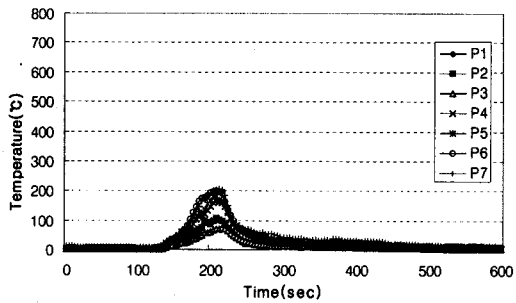


Fig. 5 Temperature distribution (B.L. = 0.45 m).

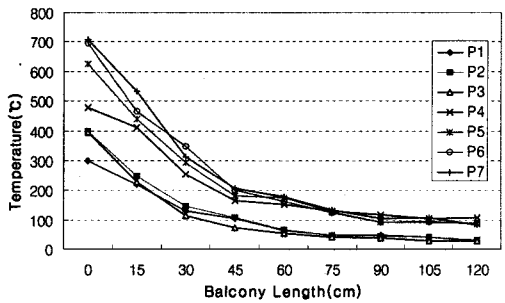


Fig. 9 Highest temperature distribution of every measuring point due to change of balcony length.

숫자 P1~P7은 측정점을 나타낸다. 측정점 P1~P3는 F+2층에 위치하고, P4~P7은 F+1층에 위치한다(Fig. 1). 이러한 측정점은 각 측정점과 동일한 높이에 위치한 여러 측정점 중에서 최고온도를 나타내는 대표값들이다.

Fig. 2는 발코니 길이 L=0일 때의 온도분포를 나타낸 것으로, F+1층의 각 측정점 최고온도분포는 708.4℃(P7), 693.5℃(P6), 624.8℃(P5), 478.7℃(P4)이고, F+2층은 395.3℃(P3), 396.9℃(P2), 299.9℃(P1)를 나타내는 것으로 조사되었고, 400℃ 이상의 고온도에서 지속되는 시간도 60초(P7), 56초(P6), 52초(P5), 32초(P4)를 나타내어 상당시간 계속되었다. 따라서 L=0일 때는 Quintiere<sup>(11)</sup>가 제시한 Table 3의 298℃에서 412℃ 사이에 있게 되므로 F+1, F+2층의 어느 위치에서나 연소의 가능성이 있는 것으로 판단된다.

Fig. 3은 발코니의 길이를 L=0.15m로 변화시켜 화재실험을 행할 때의 온도분포를 나타낸 것으로 F+1층의 각 측정점 최고온도는 532.9℃(P7), 465.3℃(P6), 439.8℃(P5), 411.3℃(P4)이고, F+2층은 228.83℃(P3), 249.7℃(P2), 218.6℃(P7)를 나타내었다. 상기 결과로 볼 때 L=0.15m로 발코니 길이를 변화시킬 때에도 F+1층에서는 여전히 연소의 위험성이 내재되어 있다고 사료되며, F+2층에서는 발코니의 길이 증가로 인하여 높은 온도분포를 보이지는 않으나 전반적으로 200℃ 이상의 온도를 유지하고 있다.

Fig. 4는 발코니 길이 L=0.3m일 때의 값으로 F+1층에서 314.4℃(P7), 346.5℃(P6), 293.2℃(P5), 255.8℃(P4), F+2층에서 114.2℃(P3), 145.5℃(P2), 129.3℃(P1)를 나타내어 F+1층에서는 여전히 높은 온도를 보이고 있고, 최고온도는 P6에서 346.5℃를 기록하였다. F+2층에서는 각 측정점의 온도가 114.2~145.5℃의 범위에서 형성되어 발코니의 길이변화가 온도하강에 기여함을 알 수 있다. Fig. 5는 L=0.45m의 발코니 길이를 가질 때 각 층의 온도분포이며, F+1층에서는 측정점 P7에서 206.4℃, 측정점 P6에서는 200.3℃를 기록하는 등 부분적으로 상당히 높은 온도를 보이고 있으나, F+2층에서는 전반적으로 100℃ 내외의 저온을 형성하고 있다.

Fig. 6은 L=0.60m일 때의 온도분포로 F+1층에서는 최고온도 176.9℃를 P7에서, F+2층에서는 최고온도 66.6℃를 P2 지점에서 나타내며, 또

한 Fig. 7과 Fig. 8은 각각 발코니 길이를 L=0.75m와 L=0.9m로 확장할 때의 온도분포를 나타낸 것으로, 각각의 최고온도는 132.4℃, 106.2℃를, 최저온도는 40.6℃와 36.8℃를 나타내고 있어, 발코니의 길이변화로 인한 온도하강의 효과는 매우 크다 하겠다.

발코니 길이변화에 의한 각 지점에서의 최고온도 분포를 정리한 것이 Fig. 9이다. 발코니의 길이변화에 의해 온도변화의 추이가 세 가지의 다른 변화 모습을 나타내는데, 첫째는 L=0.45m까지 상당히 급격하게 경사를 이루면서 온도가 하강하는 모습을 나타내고, 둘째는 L=0.75m 지점까지는 완만한 온도변화 곡선을 이루면서 변화하고, 마지막으로 L=0.75m 이후는 100℃ 전후에서 수렴하고 있다.

#### 4.2.2 화원부 근처의 온도성상

Figs. 10~12는 발코니의 길이를 변화시킬 때 화원의 외부지점에서 화염의 온도와 주변공기온도를 측정된 것으로, 그 위치는 천정면, 천정 아래 0.3m 지점, 그리고 천정 아래 0.6m 지점에 각각 위치한다.

Fig. 10에 의하면 발코니 길이가 짧을 때는 1,061.8℃(L=0m), 1,055.6℃(L=0.3m)의 고온을 보이고, 발코니 길이가 증가하는 L=0.6m, L=0.75m, L=0.9m일 때는 각각 986.5℃, 976.1℃, 895.5℃를 나타내어 온도가 점점 저하되는 것으로 조사되었다. Fig. 11에 발화 후 약 1분 정도 지난 후 측정점의 온도는 752.2℃(L=0m), 893.3℃(L=0.15m), 934.8℃(L=0.3m), 961.8℃(L=0.45m), 987.3℃(L=0.6m), 1,028.3℃(L=0.75m), 1,007.2℃

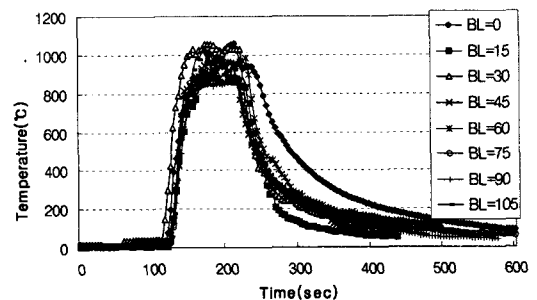


Fig. 10 Outer temperature distribution of fire room at point S1 due to change of balcony length.

(L=0.9m)를 나타내는 것으로 조사되어 발코니의 길이가 증가함에 따라 온도가 상승하였다. 또한 Fig. 12에서도 전반적으로 모든 측정점의 온도가 상승하고 있는 시점, 즉 발화 후 70초가 경과한 후의 시점에서의 온도분포는 496.6℃(L=0m), 549.8℃(L=0.15m), 606.3℃(L=0.3m), 637.5℃(L=0.45m), 665.7℃(L=0.6m), 691.9℃(L=0.75m), 650.1℃(L=0.9m)의 분포를 보이고 있는데, 이는 Fig. 11에서와 같이 높은 온도조건은 아니지만 그와 동일하게 발코니의 증가와 더불어 온도가 상승하고 있음을 알 수 있다.

상기와 같은 현상은 발코니 길이가 짧을 때는 미연소가스가 외부로 바로 배출되고 천정 하부에 체류되지 않아 화염만의 온도로 나타나기 때문이다. 한편 발코니 길이가 증가됨에 따라 미연소가스가 다량 발생되어 천정하부에 두꺼운 층이 형성되어 제트흐름으로 분출되며, 화염은 그 하부층에 형성되어 높은 온도를 유지한다. 이와 같이

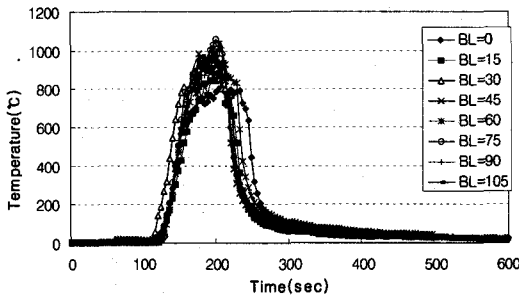


Fig. 11 Outer temperature distribution of fire room at point S2 due to change of balcony length.

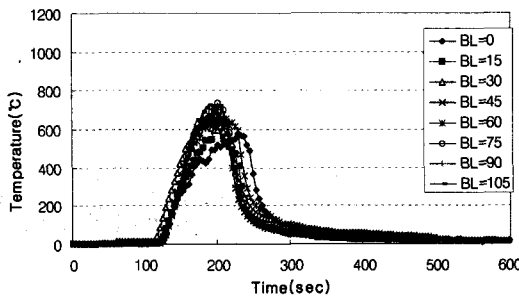


Fig. 12 Outer temperature distribution of fire room at point S3 due to change of balcony length.

층류로 형성된 고온의 미연소가스는 발코니 외부에서 충분한 양의 산소가 공급될 경우 다시 한번 연소되어 화염의 크기를 증가시키는 원동력이 되고, 발코니 끝단에서 화염을 외벽 쪽으로 만곡되게 하는 와류형성에 기여한다.

4.3 복사열에 의한 평가

Fig. 13은 F+1층에서 복사열유속을 측정된 것으로, 발코니 길이 L=0일 때의 복사열유속은 최고 80 kW/m<sup>2</sup>를 상회하며, 20 kW/m<sup>2</sup> 이상에서의 지속시간도 120초 이상으로 측정되었다. 이와 같은 지속시간은 Table 4에 의하면 외벽에 설치되는 가연물질의 재료에 따라 연소의 가능성이 있다. 발코니 길이변화에 따른 각 지점에서의 최고 복사열유속은 각각 51 kW/m<sup>2</sup>(L=0.15m), 39 kW/m<sup>2</sup>(L=0.3m), 30 kW/m<sup>2</sup>(L=0.6m), 25 kW/m<sup>2</sup>(L=0.75m), 22 kW/m<sup>2</sup>(L=0.9m), 22 kW/m<sup>2</sup>(L=1.05m)로 조사되었다. 복사열유속에 대한 착화 가능성의 기준을 wool carpet의 재료에 한정시키면, 발코니의 길이가 L=0.6m일 때 복사열유속이 20

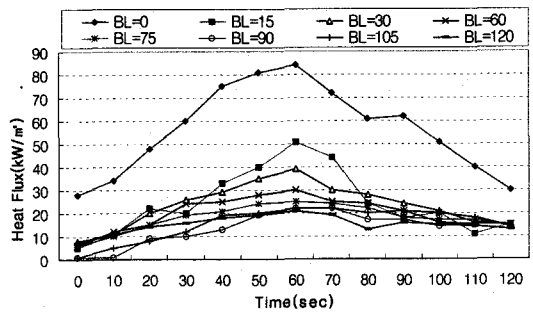


Fig. 13 Change of radiant heat flux.

Table 4 General ignition time of thick solids

Heat flux (kW/m <sup>2</sup> )	Time (s)	Material
10	300	Plexiglas, polyurethane foam
	70	Wool carpet
20	150	Paper on gypsum board
	250	Wool Particleboard
30	5	Polyisocyanurate foam
	70	Wool/nylon carpet
	150	Hardboard



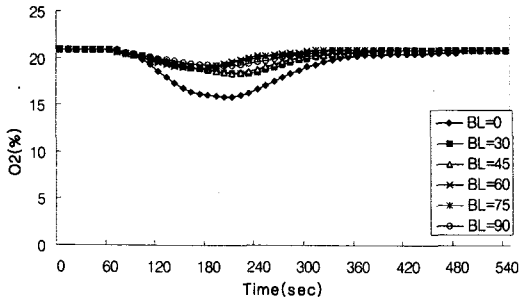


Fig. 14 Change of oxygen concentration.

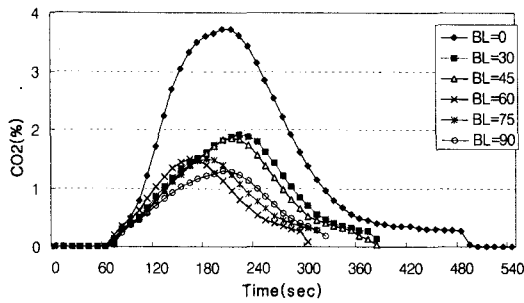


Fig. 15 Change of carbon dioxide concentration.

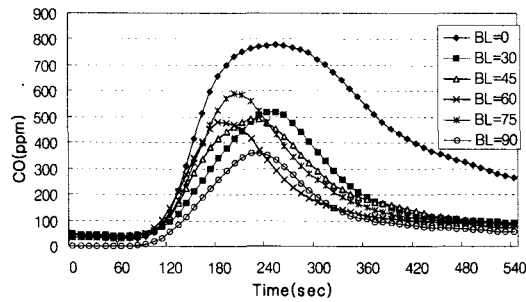


Fig. 16 Change of carbon monoxide concentration.

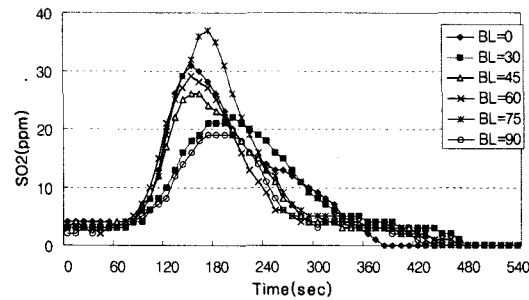


Fig. 17 Change of sulfur dioxide concentration.

$\text{kW/m}^2$  이상이고, 그 지속시간이 70초에 근접하게 되어 재료에 대한 착화 가능성이 있으므로, 이를 저지하기 위한 발코니의 길이는 최소한 그 이상이 되어야 한다.

#### 4.4 연소가스에 의한 평가

화재시 발생하는 연소생성물 연소가스를 F+1층의 상부에서 포집하였으며, 측정대상물질은  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ 이며, 시간경과에 따른 농도변화를 Figs. 14~17에 나타냈다.

Fig. 14는  $\text{O}_2$ 의 농도변화 분포도로, 발코니 길이에 따라 각각 15.9%( $L=0$  m), 18.34%( $L=0.3$  m), 18.4%( $L=0.45$  m), 18.9%( $L=0.6$  m), 18.9%( $L=0.75$  m), 19.25%( $L=0.9$  m)의 값으로 조사되었고, 발코니를 설치하지 않을 때와 0.9m의 발코니를 설치할 때의 산소농도 변화는 최대 3.26% 정도로 나타났다.  $\text{CO}_2$ 의 농도변화는 Fig. 15에 나타냈는데, 3.71%( $L=0$  m), 1.92%( $L=0.3$  m), 1.85%( $L=0.45$  m), 1.49%( $L=0.6$  m), 1.49%( $L=0.75$  m), 1.29%( $L=0.9$  m)의 값을 보였고, 발코니의 설치로 이산화탄소의 농도는 저하되었으나 그 농도는 여전히 유해한 것으로 나타났다.

Fig. 16은  $\text{CO}$ 의 농도변화로,  $L=0$ m에서 최대 값인 778 ppm을 나타냈는데, 이 수치는 구토, 호흡곤란 등을 초래할 수 있는 농도이다. 각 지점에서의 농도는 519 ppm( $L=0.3$  m), 491 ppm( $L=0.45$  m), 482 ppm( $L=0.6$  m), 590 ppm( $L=0.75$  m), 361 ppm( $L=0.9$  m)으로 조사되었다. 끝으로 눈 및 호흡기 등의 점막을 상하게 하는 자극성가스인  $\text{SO}_2$ 의 측정값을 Fig. 17에 표시하였고, 각각 31 ppm( $L=0$  m), 22 ppm( $L=0.3$  m), 26 ppm( $L=0.45$  m), 29 ppm( $L=0.6$  m), 37 ppm( $L=0.75$  m), 19 ppm( $L=0.9$  m)으로 측정되어 전반적으로 연소가스의 농도가 저감됨을 알 수 있었으나, 연소물질의 종류에 따라 발생하는 미량의 맹독성 연소가스의 단시간 노출에도 화재실 상부층의 요구조자가 위험에 처할 수 있음을 간과해서는 안된다.

#### 5. 실험결과 및 고찰

이상과 같이 실험모델실을 대상으로 하여 발코니의 길이를 변화시키면서 화재실 상부층으로의 연소생성물, 연소가스 생성물의 고찰과 복사열이 미

치는 영향 등에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론에 이르렀다.

(1) 발코니를 설치하지 않을 경우( $L=0\text{m}$ ) 최고온도는 F+1층에서  $708.4^{\circ}\text{C}$ , F+2층에서  $396.9^{\circ}\text{C}$ 를 나타내고 외벽부 전반에 걸쳐 높은 온도를 보이고 있다. 이러한 결과로 볼 때 발코니를 확장한 공동주택의 경우는 F+1층만이 아니라 F+2층까지도 연소의 위험성이 있으므로, F+1층에  $0.9\text{m}$  이상의 방화판 또는 방화유리창을 설치하게 되어 있는 현행 규정으로는 화재의 연소를 방지할 수 없을 것으로 판단된다. F+1층의 외벽부 온도가 전체적으로  $300^{\circ}\text{C}$  이상으로 형성되는  $L=0.45\text{m}$ 까지도 동일하다.

(2) 발코니의 길이를  $0.15\text{m}$  간격으로 증가시킬 때 F+1층에서의 온도는 최고  $532.9^{\circ}\text{C}$ ( $L=0.15\text{m}$ )에서  $L=0.9\text{m}$ 일 때  $106.2^{\circ}\text{C}$ 까지 낮아졌으며, F+2층에서는 최고온도  $396.9^{\circ}\text{C}$ ( $L=0\text{m}$ )에서  $47.9^{\circ}\text{C}$ ( $L=0.9\text{m}$ )까지 매우 낮은 온도로 저하되었고 지속시간도 줄어들었다. 아울러 연소가스 농도변화도 발코니의 변화에 따라 저감됨을 알 수 있어, 공동주택의 외벽에 발코니를 설치하는 것은 화재시 발생하는 온도화 연소가스 농도를 저하시킬 것으로 판단된다.

(3) 외벽의 온도변화와 연소성에 중요한 영향을 미치는 Trajectory의 방향성을 결정하는 것은 화염의 분출력, 그리고 연기의 양과 분출속도에 의존한다. 따라서, 분출력의 완화 내지는 저감방안을 강구하고, 충분한 양의 연기와 속도에 의해 형성되는 와류의 생성과 성장을 저지하는 것이 연소현상을 줄이는 방안임을 알 수 있었다.

(4) 연소방지를 위한 적정 발코니 길이는, 첫째는 Table 3에서 제시한 착화온도만의 요소로 평가할 때는 F+1층의 온도가  $300^{\circ}\text{C}$  이하에서 형성되는  $L=0.45\text{m}$ 가 적당하다. 둘째는 Table 4에서 제시하는 복사열유속과 착화시간의 상관성에서 고려할 때 재료의 특성에 따른 차이가 있겠지만 착화가 용이한 wool carpet로 한정하면, 복사열유속이  $20\text{kW/m}^2$  이상이면서 그 지속시간이 70초에 근접하여 착화가 가능하게 되는 길이는 Fig. 13에 의해  $L=0.6\text{m}$ 가 되므로, 최소한 그 이상이 되어야 연소현상을 제어할 수 있게 되는데, 화재의 안전측에서 고려할 때 두번째 방안이 타당하다고 사료되어, 본고에서는  $0.7\text{m}$  정도의 길이가 적절할 것으로 판단한다.

## 참고문헌

1. Korea Fire Protection Association, 2001, Analysis of Safety Inspection Result of the Fiscal year 2001, pp. 8-10.
2. Ulsan Fire Department, 2003, Fire Data of Ulsan Fire Department.
3. U.S. Fire Administration, 2002, High-rise Fires, Topical Fire Research Series, Vol. 2-18.
4. Yokoi, S., 1960, Study on the Prevention Fire-Spread Caused by Hot Upward Current, Building Research Institute, Report No. 34.
5. Oleszkiewicz, I., 1990, Fire Exposure Exterior Walls and Flame Spread on Combustible Cladding, Fire Technology, Vol. 26-4, pp. 357-375.
6. Choi, I.-C., 2002, A Study on the Characteristics of External Flame Spread by Various Projection's Dimensions for Architectural Fire Safety, Dankuk University.
7. Suzuki, T., Sekizawa, A. and Yamada, T., 2001, An Experimental Study of Ejected Flames of a Highrise Buildings, Technical Report, National Research Institute of Fire and Disaster, pp. 363-373.
8. Galea, E. R., Berhane, D. and Hofmann, N. A., 1996, CFD Analysis of Fire Plumes Emerging from Windows with External Protrusions in Highrise Buildings. International Fire Science and Engineering Conference Interflam '96, Cambridge, UK, March 1996.
9. Mammoser III, J. H., 2004, A computational study on the use of balconies to reduce flame spread in high rise apartment fires, Fire Safety J., Vol. 39, pp. 277-296.
10. Babrauskas, V., 2002, Heat Release Rates, Chap. 3-1 in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed.
11. Quintiere, J. G. and Harkleroad, M., New Concepts for Measuring Flame Spread Properties, NBSIR 84-2943.